

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Sinar-X

Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan interval panjang gelombang dari 0,001 sampai 1 nm atau 0,01–10 Å, sehingga sinar-X mempunyai daya tembus sangat besar. Sebagai gelombang elektromagnetik Sinar-X mempunyai laju dalam ruang hampa sebesar $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$. (Curry, 1985).

Jika filamen pada tabung Rontgen dipanaskan elektron akan terlepas dan dipercepat melalui suatu potensial V dengan energi kinetik $E_k = \frac{1}{2} mv^2$, dan ketika menumbuk target akan terjadi proses Bremsstrahlung. Pada proses Bremsstrahlung panjang gelombang sinar-X yang dihasilkan (Beiser, 1990).

Adalah
$$\lambda = hc / eV \quad (2.1)$$

Dengan h : Tetapan Planck ($6,62618 \times 10^{-34} \text{ J.s}$)

ν : Frekuensi (Hz)

c : Kecepatan Cahaya (ms^{-1})

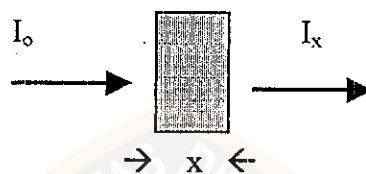
λ : panjang gelombang (m)

V : tegangan (volt)

e : Muatan elektron = $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

Pemanfaatan sinar-X di bidang medis untuk keperluan diagnosis suatu penyakit didasarkan atas sifat-sifat yang dimilikinya (Hoxter, 1973) yaitu :

- (a) Mempunyai daya tembus yang tinggi terhadap obyek. Kemampuan sinar-X menembus suatu bahan dipengaruhi oleh energi sinar-X, densitas obyek dan nomor atom dari obyek.
- (b) Mengalami atenuasi atau pelemahan saat menembus bahan yang disebabkan oleh kerapatan, ketebalan dan nomor atom bahan yang dilalui.



Gambar. 2.1 Penyerapan Sinar-X

Jika radiasi sinar-X melalui medium yang memiliki koefisien Serapan μ dan ketebalan x (Gambar 2.1) maka perubahan intensitas memenuhi persamaan :

$$\frac{dI}{dx} = -\mu I$$

atau $I = I_0 e^{-\mu x}$ (2.2)

dengan I_x = Intensitas setelah menembus medium (watt / m²)

I_0 = Intensitas mula-mula (watt / m²)

e = Bilangan Basis Logaritma Alam

μ = Koefisien Atenuasi Medium (1/m)

x = Ketebalan medium (m)

(c) Menimbulkan efek fotografis dalam bentuk penghitaman plat fotografik.

Perak Bromida (AgBr) yang merupakan bahan aktif pada emulsi, apabila terkena Sinar-X akan terbentuk bayangan laten. Setelah melalui proses pengolahan secara kimiawi dengan larutan pembangkit (developer) akan terbentuk bayangan yang dapat dilihat.

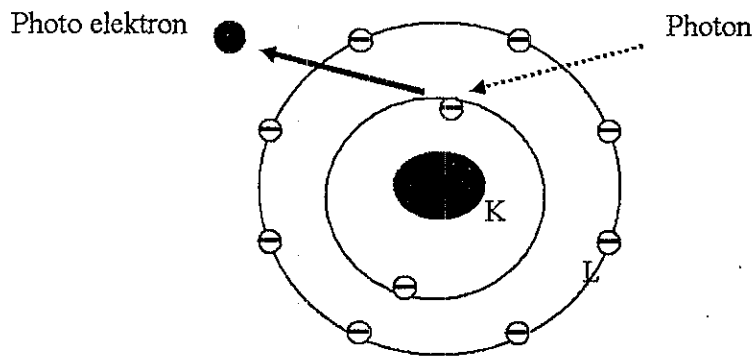
Faktor yang menentukan intensitas Sinar-X (Bushong, 1988) adalah beda potensial, kuat arus, jarak antara target dengan film.

2.2 Interaksi Sinar-X dengan Materi

Interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan bahan ada dua macam yang terpenting yaitu Efek Foto Listrik dan Efek Compton (Krane, 1982).

2.2.1 Efek foto Listrik

Efek Foto Listrik timbul karena interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan elektron-elektron dalam atom bahan. Pada peristiwa ini energi foton diserap seluruhnya oleh elektron yang terikat kuat oleh suatu atom sehingga elektron tersebut terlepas dari ikatan inti atom. Elektron yang terlepas disebut "foto elektron" (Anonim, 2000). Foto elektron ini akan bertabrakan dengan atom lain dan tetap berada dalam molekulnya. Diagram proses efek foto listrik diperlihatkan dalam gambar berikut ini.



Gambar 2.2 Proses Interaksi Efek Foto Listrik (Krane, 1982)

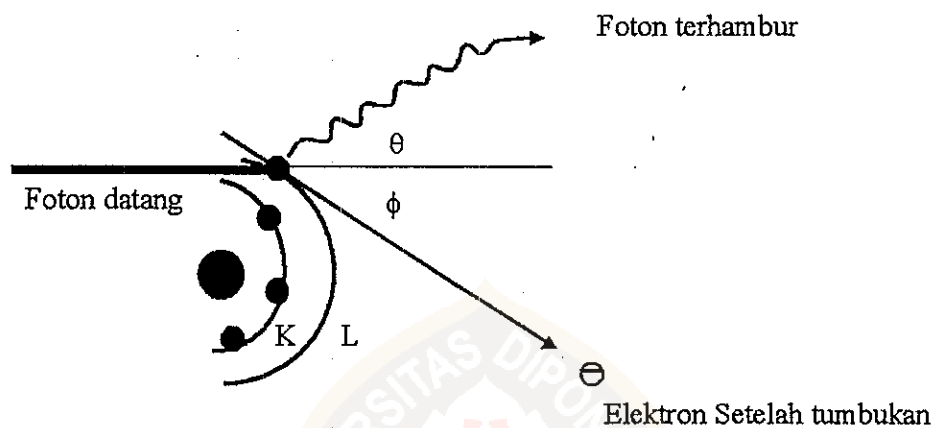
Dalam reaksi ini tidak ada radiasi kedua, karena semua energi foton telah diserap oleh elektron, Energi yang dilepaskan dalam efek foto listrik (Beiser, 1991).

$$E_k = h(\nu - \nu_0) = h\nu - h\nu_0 \quad (2.3)$$

- Dengan
- E_k = Energi kinetik foto elektron (J)
 - h = Konstanta Planck ($6,626 \cdot 10^{-34}$ J.S)
 - ν = Frekuensi Foton (Hz)
 - ν_0 = Frekuensi ambang atau frekuensi minimum yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari bahan (Hz)
 - $h\nu$ = Energi Foton datang (J)
 - $h\nu_0$ = Energi ambang atau energi minimum yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari bahan (J)

2.2.2 Efek Compton

Efek Compton adalah gejala yang timbul dalam proses interaksi foton dengan elektron yang tidak terikat secara kuat pada atomnya yang menghasilkan foton lain dengan energi lebih rendah dari foton datang (Simin, 1995). Proses Interaksi Compton terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Proses Interaksi Efek Compton (Krane, 2000)

Hubungan antara energi dalam interaksi Compton (Bushong, 1988) adalah :

$$E_r = E_h + (E_i + E_k) \quad (2.4)$$

dengan E_r = Energi foton datang

E_h = Energi foton terhambur

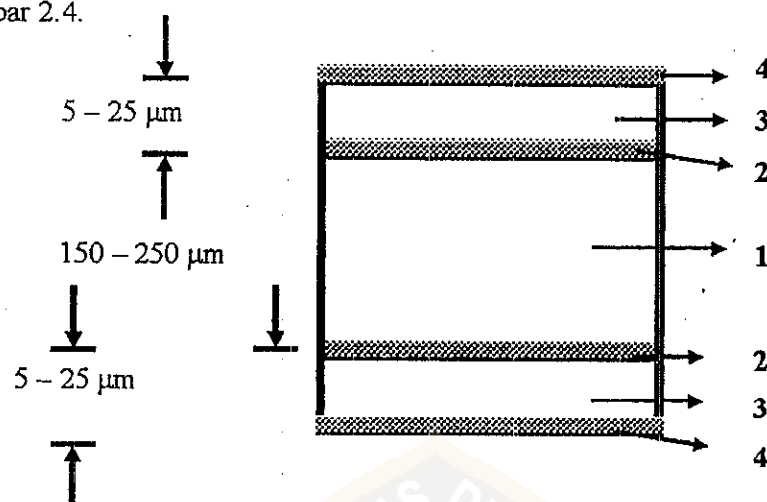
E_i = Energi ikat elektron

E_k = Energi kinetik elektron

2.3 Film Sinar-X

2.2.1 Struktur Film Sinar-X

Secara garis besar film sinar-X memiliki struktur seperti terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Penampang Lintang Film Sinar-X (Bushong, 1988)

Keterangan Gambar :

- 1 = Lapisan Dasar (*Film Base*)
- 2 = Lapisan Perekat (*Substratum layer / adhesive*)
- 3 = Lapisan Emulsi
- 4 = Lapisan Pelindung (*Supercoating*)

a. Lapisan Dasar Film

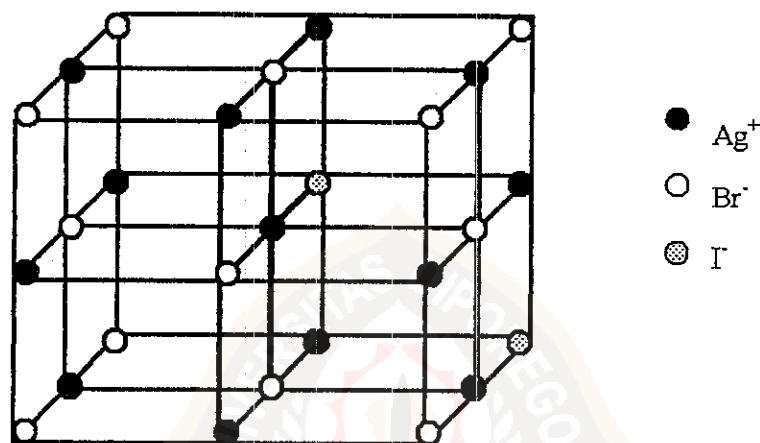
Lapisan dasar film merupakan pondasi dasar film sinar-X yang berfungsi sebagai tempat emulsi film dilekatkan. Lapisan ini terbuat dari bahan poliester dan diberi warna kebiru-biruan.

b. Lapisan Perekat (*Substratum layer/adhesive*)

Lapisan perekat berfungsi sebagai bahan perekat antara lapisan dasar film dengan lapisan emulsi. Lapisan ini terbuat dari bahan *Cellulose*, *Gelatin* dan *Aceton*.

c. Lapisan Emulsi

Struktur kristal lapisan emulsi film disajikan pada gambar 2.5 :



Gambar 2.5 Struktur Kristal Emulsi Film (Curry, 1990)

d. Lapisan Pelindung (*Supercoating*)

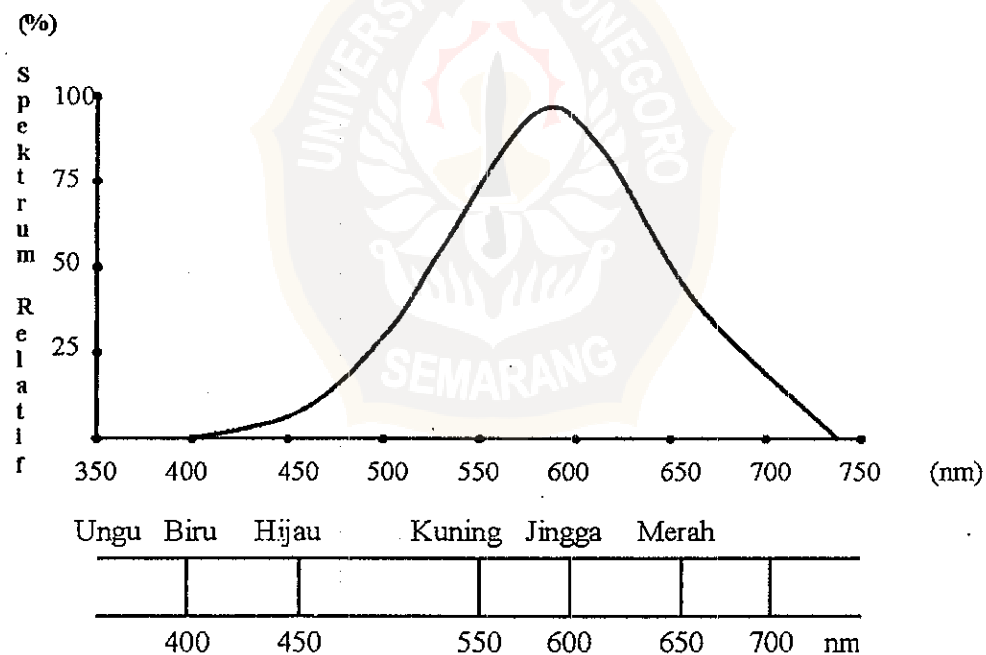
Merupakan suatu lapisan tipis yang memiliki ketebalan 0,01 mm. Biasanya terdiri dari campuran *Cellulose* dan *Gelatin*. Sehingga permukaan film menjadi licin (Curry, 1990). Lapisan pelindung ini mempunyai dua fungsi utama yaitu :

1. Sebagai pelindung emulsi dari kepekaan cahaya yang dapat terjadi selama pemakaian film.
2. Agar permukaan film menjadi halus sehingga mencegah debu menempel pada permukaan emulsi.

2.2.2 Jenis Film Sinar-X

Pada umumnya pengaruh cahaya terhadap emulsi film tergantung dari kuantitas dan kualitas sumber cahaya. Cahaya dipancarkan dalam spektrum warna yang tiap-tiap spektrum mempunyai panjang gelombang dan energi yang berbeda (Chesney, 1981).

Spektrum elektromagnetik (invesible spektrum) adalah daerah frekuensi di atas radiasi elektromagnetik, yang dimulai dari frekuensi rendah seperti gelombang radio sampai frekuensi yang tinggi seperti sinar-X. Spektrum sensitivitas berhubungan dengan respon film terhadap panjang gelombang dari deretan spektrum gelombang elektromagnetik dalam mencatat bayangan laten yang dapat digambarkan pada spektrum.



Gambar 2.6. Kurva Sensitivitas Mata Terhadap Perbedaan Panjang Gelombang (Chesney, 1981)

Menurut Chesney dan Chesney (1981) film sinar-X memiliki perbedaan kepekaan terhadap Spektrum Cahaya, yaitu :

(a) Film Monokromatik

Film monokromatik disebut juga dengan nama *Blue Sensitive, Non Colour Sensitive* atau *Blind Sensitive*. Emulsi ini memiliki kepekaan warna dari ultraviolet sampai dengan warna biru.

(b) Film Orthokromatik

Film Orthokromatik yaitu jenis film dengan kepekaan spektral dari ultra violet sampai dengan warna hijau. Film jenis ini sering disebut juga sebagai film *Green Sensitive*.

2.4 Pembentukan Bayangan

Jumlah foton sinar-X yang mengenai film berbeda-beda tergantung pada penyerapan tubuh pasien. Sehingga akan terbentuk pola bayangan pada film yang terlihat setelah melalui suatu proses pengolahan (Meredith dan Massey, 1977).

Menurut teori Gurney-Mott (Robert & Smith, 1988) ada lima tahap sampai terbentuknya bayangan laten. Pada saat senyawa perak bromida terpapari radiasi sinar-X, ikatan antara perak dan bromida terputus. Beberapa ion bromida mampu bergerak dengan kecepatan tinggi menuju ke daerah sensitif emulsi dan ditarik oleh pusat pembentukan bayangan (Tahap 1). Ion negatif akan menarik ion perak sehingga terjadi ionisasi dan terbentuk atom perak (Tahap 2). Atom perak yang terbentuk belum stabil dan mudah sekali terjadi kembali pelepasan elektron

(Tahap 3), sehingga proses 1 dan 2 akan terulang lagi. Pada waktu yang singkat, pusat pembentukan bayangan akan menarik ion perak yang kedua sehingga akan terbentuk dua atom perak yang stabil pada pusat pembentukan bayangan yang merupakan bayangan laten. Proses ini dapat ditulis sebagai berikut (Chesney, 1981) :



Proses selanjutnya adalah pembentukan bayangan tampak. Bayangan tampak ini akan muncul apabila film dimasukkan ke dalam cairan pembangkit (*developer solution*) maka cairan ini akan mereduksi perak bromida menjadi perak metalik. Cairan pembangkit ini tidak mempengaruhi perak Bromida yang tidak terkena sinar-X. Perak yang tidak terkena sinar-X ini harus dilarutkan karena dapat aktif kembali. Untuk itu kemudian film dimasukkan dalam cairan penetap (*fixing solution*) yang berfungsi sebagai pelarut Bromida yang tidak terkena sinar-X dan penetap perak metalik.

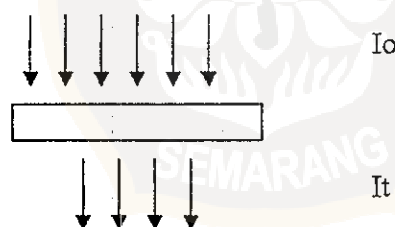
2.5 Kualitas Radiograf

Kualitas radiograf yang baik sangat diperlukan untuk membantu menegakkan diagnosa suatu penyakit. Kualitas radiograf dapat didefinisikan sebagai kemampuan radiograf untuk menghasilkan pola gambar dan sinar-X yang melalui obyek. (Chesney, 1981).

Suatu radiograf dikatakan memiliki kualitas yang baik apabila menghasilkan gambaran yang tepat, tanpa penambahan, pengurangan dan pengubahan bentuk bayangan. Faktor-faktor yang menentukan dalam penilaian kualitas radiograf antara lain :

2.5.1 Densitas Film

Film sinar-X memiliki karakteristik yang menggambarkan sensitifitas emulsi film yang berbeda antara film yang satu dengan yang lain. Sensitifitas emulsi terhadap sejumlah penyinaran yang diterima dapat dilihat dari densitas setelah film tersebut mengalami proses pencucian. Densitas diartikan sebagai jumlah atau derajat penghitaman dari film yang disebabkan oleh sejumlah penyinaran. Apabila film dipapari radiasi maka intensitas cahaya yang diteruskan akan berkurang karena terserap oleh logam perak yang terbentuk pada lapisan emulsi film. Makin banyak cahaya yang diserap, intensitas cahaya yang diteruskan makin berkurang.



Gambar 2.7. Prinsip Densitas Optik (Meredith, 1979)

Nisbah antara intensitas cahaya sebelum mengenai film (I_0) dengan intensitas cahaya setelah menembus film (I_t) didefinisikan sebagai *densitas film*

dan dinyatakan dengan logaritma. Menurut persamaan berikut (Meredith dan Messey, 1979) :

$$D = \log \frac{I_0}{I_t} \quad (2.8)$$

dengan D = densitas film

I_0 = Intensitas cahaya sebelum mengenai film (R/sec)

I_t = Intensitas cahaya setelah mengenai film (R/sec)

Densitas yang digunakan dalam diagnostik berkisar antara 0,2 sampai 2,0.

2.5.2 Kontras Radiografi

Kontras merupakan perbedaan derajat kehitaman antara bagian-bagian yang membentuk gambar. Radiograf dikatakan memiliki kontras yang baik, apabila bagian yang satu dengan lainnya dapat dibedakan. Secara garis besar kontras dapat dibedakan menjadi dua bagian :

- (a). Kontras obyektif yaitu kontras yang sebenarnya dan dapat diukur dengan alat densitometer, dalam bentuk angka. Yang termasuk dalam kontras obyektif adalah kontras radiasi, yaitu perbedaan intensitas radiasi yang diteruskan ke film yang disebabkan oleh perbedaan daya serap bahan terhadap sinar-X yang memberikan perbedaan penghitaman.

Kontras film biasanya dinyatakan sebagai gradien rata-rata dalam kurva karakteristik film. Serta kontras radiograf adalah perbedaan penghitaman dari dua daerah yang berbeda.

Perbedaan densitas dapat diukur dengan densitometer. Untuk menentukan nilai kontras yaitu dengan mengurangi nilai densitas yang besar dengan densitas yang kecil. Hasilnya merupakan kontras radiograf yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C = D_2 - D_1 \quad (2.9)$$

dengan C = kontras radiograf

D_2 = Densitas daerah 2

D_1 = Densitas daerah 1

(b). Kontras Subyektif yaitu kontras yang dipengaruhi oleh kondisi penglihatan pada masing-masing individu, di mana pada masing-masing individu akan berbeda pula bila kondisi penglihatan berbeda. Kontras Subyektif tidak dapat dinilai dalam bentuk angka.

Kontras Radiograf tergantung pada kontras obyek yang diperiksa dipengaruhi oleh ketebalan, intensitas dan perbedaan atom dari organ yang diperiksa. Sedangkan Kontras Film tergantung pada faktor karakteristik film, pemakaian lembar penguat (*intensifying screen*) dan pemrosesan film (Curry, dkk, 1985).

2.6 Kurva Karakteristik

Kurva karakteristik adalah kurva/grafik yang menggambarkan bagaimana respon film/film screen sistem terhadap eksposi. Kurva ini

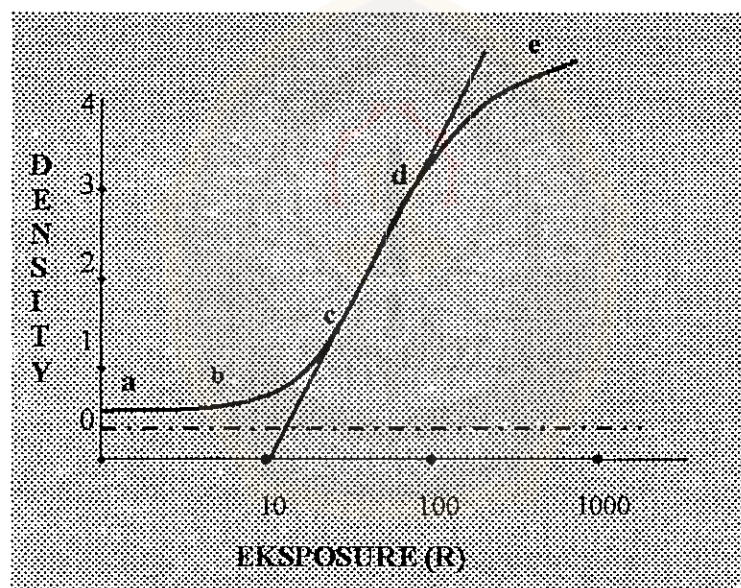
menunjukkan hubungan antara nilai logaritma pemaparan ($\log E$) dengan densitas yang dihasilkan (D). Pemaparan adalah jumlah foton atau energi yang menumbuk satu satuan luas dari obyek yang diradiasi. Pemaparan dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$E = I_0 t \quad (2.10)$$

dengan E = pemaparan (roengent)

I_0 = intensitas pemaparan (roengent/sec)

t = waktu pemaparan (s)



Gambar 2.8 Kurva Karakteristik Dari Sebuah Film (Chesney, 1981)

Secara umum kurva karakteristik dibagi menjadi 5 daerah yaitu daerah kabut dasar (ab) menunjukkan densitas paling rendah, densitas pada daerah ini sudah ada sebelum film disinari. Daerah tumit (bc), densitas mulai ada karena

sejumlah penyinaran. Daerah ketiga (cd) merupakan daerah terpenting dari film sinar-X karena menunjukkan respon film terhadap penyinaran. Pada daerah ini densitas sebanding dengan logaritma penyinaran. Daerah bahu (de) menunjukkan daerah dengan densitas paling tinggi atau daerah *over exposure*, penambahan penyinaran memberikan kenaikan densitas yang sangat kecil, terakhir daerah solarisasi (e), dimana densitas akan menurun dengan penambahan penyinaran karena terjadi rekombinasi ion perak dan ion bromida menjadi perak bromida.

Dari kurva karakteristik film diperoleh informasi (Chesney,1981) :

(a) Tingkat Kabut Dasar (*Basic Fog Level*)

Tingkat kabut dasar adalah tingkat kehitaman (densitas) film sebelum film tersebut mendapat pemaparan sinar-X. Film yang belum dipapari radiasi bila diproses ternyata sudah memiliki tingkat kehitaman yang dinamakan kabut dasar (*basic fog*). Kabut dasar (*basic fog*) meningkat bila waktu pencelupan didalam larutan developer dan konsentrasi serta suhu larutan developer naik. Faktor lain yang menyebabkan *basic fog* meningkat adalah umur film, kondisi pemaparan film dan laju film (*film speed*). Film sinar-X yang tidak disinari bila diproses akan menampilkan densitas 0,12, ini merupakan densitas basis atau kabut dasar. Densitas basis rata-rata 0,07 dan densitas kabut rata-rata 0,05 disebabkan karena butiran perak yang mengembang.

(b) Gamma (γ) Film

Bagian ini adalah bagian yang paling penting dari film radiograf yang biasa disebut dengan gradien. Kontras film dapat diukur dari bagian garis lurus pada

Kurva Karakteristik, apabila sebuah film mempunyai kontras yang tinggi maka akan mempunyai Kurva Karakteristik dengan kemiringan yang curam.

Menurut Meredith dan Messey (1979), Gamma (γ) Film didefinisikan sebagai kemiringan maksimum kurva karakteristik yang menunjukkan kontras film yang dinyatakan dengan :

$$\gamma = \text{tg } \alpha = \frac{D_2 - D_1}{\log E_2 - \log E_1} \quad (2.11)$$

dengan γ = gamma film

D_2, D_1 = densitas hasil pemaparan

E_2, E_1 = pemaparan

Dengan menggunakan persamaan (2.9) maka persamaan (2.11) dapat ditulis kembali dalam bentuk :

$$\begin{aligned} C &= D_2 - D_1 \\ &= \gamma (\log E_2 - \log E_1) \\ &= \gamma \log \left(\frac{E_2}{E_1} \right) \end{aligned} \quad (2.12)$$

Slope (gradien garis lurus) yang menghubungkan titik-titik dari densitas guna pada kurva karakteristik disebut gradien rata-rata yaitu rentang densitas yang masih bisa dibedakan oleh mata (0,2 sampai 2,0)

(c) Jangkah pemaparan (*latitude Film*)

Jangkah pemaparan merupakan rentang kemampuan emulsi film dalam menerima respon penyinaran sampai menghasilkan densitas guna (0,2 – 2,0).

Besarnya jangkah pemaparan (*latitude film*) tergantung dari gradien rata-rata film tersebut (Curry III dkk, 1985).

2.7 Faktor Eksposi

Faktor Eksposi adalah hal-hal yang mempengaruhi terhadap nilai eksposi (pemaparan) antara lain (Rasad, 1992) :

1. Tegangan Tabung (kV)
2. Arus Tabung (mA)
3. Waktu Penyinaran (s)

Berkenaan dengan hal tersebut maka Fungsi arus tabung dan waktu penyinaran adalah mengatur panas permukaan filamen pada Tabung Sinar-X, yang berarti mengatur intensitas (jumlah) Sinar-X yang dihasilkan. Adapun tegangan tabung (kV) mengatur besarnya energi elektron cepat yang mengenai target, yang berarti menentukan besarnya energi tiap foton sinar-X (Anonim, 2000).

Pada penggunaannya mAs mengontrol densitas film, kV mengontrol kontras gambar radiograf (Curry, 1985).